

doc. Ing. Jan Eliáš, Ph.D.
Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební
Vysoké učení technické v Brně
Veveří 331/95, 602 00 Brno

Stanovisko školitele
k doktorské disertační práci Ing. Josefa Květoně

**STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF PLAIN AND
FIBER-REINFORCED CONCRETE USING DISCRETE
MESO-SCALE MODEL**

Statická a dynamická analýza prostého a vlákný vyztuženého betonu s
využitím diskretního modelu

Student Josef Květoň zahájil Ph.D. v roce 2015. V návaznosti na svou bakalářskou a diplomovou práci pokračoval v tématu modelování tahového porušení betonu a podobných heterogenních materiálů. Od počátku se zabýval dynamickým zatěžováním a používal diskretní model s přímou reprezentací materiálové struktury. V roce 2018 absolvoval půlroční stáž na Universitě v Delftu, kde se v týmu profesora Erika Schlangena zabýval výzkumem vláknocementových kompozitů. Jeho úkolem bylo vytvořit pro studovaný materiál numerický model a jeho volba opět vedla k diskretní heterogenní reprezentaci. V tématu modelování vláknocementových kompozitů pokračoval i po návratu ze stáže. Odevzdaná disertační práce tak má nakonec dvě hlavní části: (i) modelování vláknocementových kompozitů a (ii) modelování prostého betonu pod dynamickým zatížením.

Josef měl k dispozici převzatý zdrojový kód diskretního mezoúrovňového modelu pro statickou analýzu prostého betonu. Tento model rozšířil o implicitní dynamický řešič integrující v čase podle Newmarkovy metody. Dále do modelu přidal přímou reprezentaci vláken pomocí jejich účinků na trhlinu. Ačkoliv obě tato rozšíření jsou ve výzkumu již používána a student tak vlastně převzal metodiku z literatury, jejich efektivní implementace je komplikovaná a vyžaduje hluboké pochopení problematiky.

S funkčními rozšířeními modelu prováděl Josef simulace experimentů z literatury a také experimentů provedených v Delftu v průběhu jeho stáže. Jádrem práce je velká spousta studií ukazujících vliv různých parametrů modelu na jeho odezvu a způsob vzniku, šíření a větvení trhlin.

Hlavní závěry práce jsou z mého pohledu následující:

- Jedním z výchozích bodů práce byla domněnka, že při využití modelu na mezoúrovni již nebude potřeba vkládat do konstitutivních rovnic fenomenologickou závislost na rychlosti deformace. To se ovšem ukázalo jako pouze částečně pravdivé, a to jen pro střední rychlosti deformace. Pro vysoké rychlosti dochází k porušování materiálů na ještě nižších úrovních (více trhlin mezi dvěma zrny kameniva v betonu), což již mezoúrovňový model není schopen zachytit.
- Díky přímé reprezentaci heterogenní struktury vznikají v modelu při tlakovém namáhání příčná tahová napětí. To je jeho velká výhoda oproti homogenním modelům, neboť pod statickým tlakovým zatížením vznikají, stejně jako v experimentech, příčné trhliny. U dynamických experimentů se ovšem ukázalo, že toto příčné porušování je přehnané a neodpovídá naměřeným datům. Bohužel práce nenabízí řešení tohoto problému.

- Popsaný model věrně vystihuje vliv vláken na výslednou hustotu trhlin a také na tahové zpevnění materiálu s rozptýlenými krátkými vlákny. Pomocí modelu je možné zodpovědět otázky týkající se vlivu orientace a objemového zastoupení vláken, pevnosti a tuhosti matrice a materiálu vláken, a celé řady dalších parametrů.
- Práce také poukazuje na rozpor mezi parametry vláken měřenými přímo na jednom vlákně a parametry identifikovanými pomocí modelů zpětně z naměřené odezvy vláknocementových dílců.

Domnívám se, že tyto závěry jsou hodnotné a měly by být publikovány ve vědeckých časopisech. Svědčí o tom například spolupráce s pracovištěm v Minnesotě, kde využili Josefův dynamický diskrétní model k získání parametrů pro makroskopický homogenní model. Z této spolupráce tedy jeden článek, u kterého je Josef spoluautor, ve vědeckém impaktovaném časopise vznikl. Dále je Josef (prvním) autorem příspěvků na pěti zahraničních a čtyřech domácích konferencích. Očekávám však, že se Josef nyní pokusí výsledky uvedené v disertační práci zaslat k recenznímu řízení do dalších impaktovaných časopisů.

Josefa bych rád ocenil za jeho samostatnost a zájem. Po celou dobu svého studia přicházel s novými myšlenkami a pracoval s nasazením. Oceňoval jsem i snahu o hluboké pochopení použitých metod a postupů, nikdy mu nestačila pouze povrchní znalost. Radost jsem měl také z toho, že samostatně studoval širší vědeckou literaturu a navštěvoval či sledoval tématicky zaměřené přednášky. Vytkl bych mu ale mírnou chaotičnost a horší organizaci času. To se například podepsalo i na podobě práce, která byla odevzdána opravdu na poslední chvíli před jeho odjezdem na půlroční stáž do Německa a myslím, že by ještě pár vylepšení potřebovala.

Josef byl řešitelem dvou juniorských projektů specifického výzkumu VUT v Brně v letech 2017 (*Strain-rate effect in concrete fracture*, FAST-J-17-4583) a 2018 (*Short fiber reinforcement in discrete model*, FAST-J-18-5412). Dále se podílel jako člen týmu na řešení několika projektů Grantové agentury České Republiky (GJ15-19865Y, GA16-22230S, GA19-06684J, GA19-12197S).

Během studia si doktorand zodpovědně plnil všechny své studijní povinnosti, zkoušky zvládl v řádných termínech, doktorskou zkoušku pak vykonal dne 24. 1. 2017. Zapojoval se rovněž do pedagogické činnosti na Ústavu stavební mechaniky.

Josef se aktivně zúčastnil několika odborných seminářů v zahraničí. Jednalo se o týdenní seminář CIMNE v Udine v Itálii v roce 2015 (*Modeling, simulation and characterization of multi-scale heterogeneous material*) a dva týdenní kurzy na BOKU ve Vídni také v roce 2015 (*Multi-Scale and Multi-Phase Modeling of Aging Concrete Structures* a *Advanced topics in engineering mechanics*). Dále absolvoval zmíněnou půlroční stáž na universitě v Delftu a po odevzdání disertační práce odjel na další půlroční stáž na universitu v Cáchách.

Ing. Josef Květoň zpracoval disertační práci, kterou prokázal svoji schopnost systematické vědecké práce a schopnost výsledky své práce ve srozumitelné formě publikovat. **Vzhledem ke zmíněným skutečnostem doporučuji disertační práci k obhajobě. Doporučuji, aby byl Ing. Josefu Květoňovi po úspěšné obhajobě udělen doktorský titul Ph.D.**

V Brně dne 6. 6. 2019

doc. Ing. Jan Eliáš, Ph.D.
školitel